

використання наскрізних сталезалізобетонних конструкцій із зовнішнім листовим армуванням у нетипових проектах матиме позитивний техніко-економічний ефект.

1. Воронков Р.В. Железобетонные конструкции с листовой арматурой. – Л.: Стройиздат, 1975. – 145 с.

2. Клименко Ф.Е. Сталобетонные конструкции с внешним полосовым армированием. – К.: Будівельник, 1984. – 88 с.

3. Сталезалізобетон: 36. наук. праць. За ред. д.т.н., проф. Л.І.Стороженко. – Полтава: ПолтНТУ, 2006. – 386 с.

4. Стороженко Л.І., Семко О.В., Пенц В.Ф. Сталезалізобетонні конструкції. – Полтава, 2005. – 189 с.

5. Семко О.В. Надійність сталезалізобетонних конструкцій: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – Полтава, 2006. – 35 с.

6. Семко О.В. Імовірнісні аспекти розрахунку сталезалізобетонних конструкцій. – Полтава: ПолтНТУ ім. Юрія Кондратюка, 2004. – 320 с.

Отримано 16.01.2009

УДК 621.878

В.Ф.ДЕМІШКАН, канд. техн. наук

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

ФОРМУВАННЯ ОПОРІВ РІЗАННЮ ВИПАДКОВИМ ПОТОКОМ ЕЛЕМЕНТАРНИХ АКТИВ РУЙНУВАННЯ

Розглядаються питання формування опорів різанню випадковим потоком елементарних активів руйнування.

Внаслідок різноманіття чинників, що визначають процес різання, детерміноване описання процесу формування сил опору ґрунтів різанню дає усереднені оцінки. При цьому, в застосовуваних для опису моделей намагаються спростити взаємодію факторів, розчленити єдиний процес на окремі, передбачити незалежні складові або об'єднати всі процеси, що відбуваються, деяким усередненим процесом з узагальненими по перетину характеристиками (показниками) [1, 2].

Більш доцільним є фізико-статистичний метод, що поєднує феноменологічне описання процесу різання з урахуванням статистичного характеру зміни властивостей ґрунту і режимів різання. При цьому передбачається, що статистичний характер зміни сил різання є наслідком випадкової зміни характеристик ґрунту в просторі, впливом оператора машини і нерівностей забою на положення робочого органа і т.д. [3-5].

Зміна властивостей ґрунту в просторі, наявність макронерівностей рельєфу, впливи управляючих дій оператора, що визначають цикл набору ґрунту, обумовлюють виникнення повільних змін навантаження на робочих органах – інфранізькочастотну складову.

Вплив мікронерівностей рельєфу і викликані ними управляючі дії оператора приводять до коливань навантаження низької частоти. Агрегатний склад ґрунту, періодичні відколи (відриви) елементів стружки, нерівномірність руху машини (вхід і вихід із зачеплення з ґрунтом траків гусениці, деформування в коливаннях пневмоколів) обумовлюють зміну навантаження високої частоти. Умовимося називати цю частоту першою високою частотою в зв'язку з тим, що при аналізі навантаження елементів трансмісії машин необхідні урахування і більш високих частот, пов'язаних із коливаннями навантаження в двигуні і трансмісії).

Дослідження процесів різання [3-5] свідчить, що зі збільшенням міцності (категорії) розроблюваних ґрунтів, зростає дисперсія високо-частотної частини спектру навантаження, із зниженням категорії – дисперсія низькочастотних складових. Крім цього дисперсія зменшується зі зменшенням глибини різання для машин з докритичною глибиною копання і збільшується для машин з глибиною копання в зоні критичної глибини і більшою [2].

Руйнування ґрунту відбувається зсувом або відривом, залежно від кута різання і величини навантаження. Внаслідок агрегатної будови ґрунту, випадкового розподілу його властивостей, напруги, що виникають у ґрунті перед ножем, досягають граничних значень (напруг руйнування) не одночасно по всій довжині ножа. Тому елементарні акти руйнування відбуваються не одночасно, що призводить до зниження амплітуд коливань загального навантаження на ніж та підвищення частоти коливань навантаження. Як показує аналіз робочого процесу землерийних і землерийно-транспортних машин [1-5], максимальна величина амплітуд сил різання досягається при різанні з глибиною рівною або близькою до критичної (розпушувач). Для землерийно-транспортних машин, де робочі глибини різання істотно нижче критичної (на порядок або більш), модель взаємодії може бути подана в першому наближенні як сума елементарних процесів руйнування. Кількість руйнувань визначається відношенням ширини робочого органу машини до критичної ширини різання, що відповідає робочій глибині різання даної машини. Вважаючи, відповідно до досліджень Ю.А.Ветрова [2], що $h_{KP} = B_{KP}$, одержимо число елементарних процесів руйнування рівним $\Pi_p = B_M / kh_p$. Таким чином, число елементарних процесів коливається залежно від зміни глибини копання від $\Pi_p \rightarrow \infty$ при $h_p \rightarrow 0$, до $n_{p_{min}} = B_M / kh_{min}$. При сталому процесі різання число елементарних процесів руйнування близьке до постійного.

Мета роботи – провести дослідження процесів навантаження та на основі цього визначити опори різанню землерийно-транспортних машин.

Внаслідок можливої неодноразовості елементарних актів руйнування пілкоподібна зміна навантаження в кожному з елементарних процесів може бути зсунута по шляху (часу) в зв'язку зі зміною міцностних властивостей. За наявності "основних" і "попередніх" актів руйнування [2] висота пілкоподібних імпульсів є змінною. Таким чином, навантаження на ніж моделюються в кожному перетині сумою випадкових незалежних трикутних імпульсів, ширина ξ і висота η яких є довільними випадковими величинами і, отже,

$$P = \sum_{j=1}^{np} \frac{S_j}{\xi_j} \eta_j, \quad (1)$$

де ξ_j і η_j – ширина і висота j -го імпульсу, а S_j – зсування початку імпульсу відносно аналізованого перетину процесу.

Вважаємо випадкову величину $m_j = S_j / \xi_j$ незалежною від η_j , однаковою статистично для всіх елементарних процесів руйнування і рівномірно розподіленою в інтервалі (0,1). Тоді

$$P = \sum_{j=1}^{np} m_j \eta_j. \quad (2)$$

Процеси елементарних руйнувань є статистично незалежними, визначеними випадковими розподілом властивостей ґрунту, його агрегатністю й особливостями руйнування (видом руйнування, формою елементів, що відокремлюються і т.д.). З рівняння (2) випливає:

$$\begin{aligned} \langle P \rangle &= \sum_{j=1}^{np} \langle m_j \rangle \langle \eta_j \rangle = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^{np} \langle \eta_j \rangle; \\ \langle (P - \langle P \rangle)^2 \rangle &= \left\langle \left[\sum_{j=1}^{np} \left(m_j \eta_j - \frac{1}{2} \langle \eta_j \rangle \right) \right]^2 \right\rangle = \\ &= \sum_{j=1}^{np} \left\langle \left(m_j \eta_j - \frac{1}{2} \langle \eta_j \rangle \right)^2 \right\rangle = \sum_{j=1}^{np} \left(\langle m_j^2 \rangle \langle \eta_j^2 \rangle - \frac{1}{4} \langle \eta_j \rangle^2 \right) = \\ &= \frac{1}{3} \sum_{j=1}^{np} \langle \eta_j^2 \rangle - \frac{1}{4} \sum_{j=1}^{np} \langle \eta_j \rangle^2. \end{aligned} \quad (3)$$

Тоді коефіцієнт варіації сумарного навантаження

$$\delta = \left[\frac{1}{3} \sum_{j=1}^{n_p} \langle \eta_j^2 \rangle - \frac{1}{4} \sum_{j=1}^{n_p} \langle \eta_j \rangle^2 \right]^{1/2} \bigg/ \left(\frac{1}{2} \right) \sum_{j=1}^{n_p} \langle \eta_j \rangle. \quad (4)$$

Провівши підсумовування по елементарних процесах руйнування величин $\langle \eta_j \rangle^2$, $\langle \eta_j^2 \rangle$, $\langle \eta_j \rangle$ і визначивши середньозважені значення, позначимо

$$a = \left(\frac{1}{n} \sum_{j=1}^{n_p} \langle \eta \rangle^2 \right)^{1/2}; \quad b = \left(\frac{1}{n} \sum_{j=1}^{n_p} \langle \eta_j^2 \rangle \right)^{1/2}; \quad C = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^{n_p} \langle \eta_j \rangle. \quad (5)$$

Тоді (4) можна представити у вигляді:

$$\delta = \frac{2}{C\sqrt{n_p}} \left(\frac{1}{3} b^2 - \frac{1}{4} a^2 \right)^{1/2}. \quad (6)$$

Позначимо середньозважений коефіцієнт варіації амплітуд одного елементарного процесу руйнування δ_0

$$\delta_0 = \frac{(b^2 - a^2)^{1/2}}{a}, \quad (7)$$

δ можна представити залежністю

$$\delta = 2a \left(\frac{1}{12} + \frac{1}{3} \delta_0^2 \right)^{1/2} \bigg/ (C\sqrt{n_p}). \quad (8)$$

Якщо вважати статистичні розподіли навантажень в елементарних процесах руйнування однаковими, середньозважений коефіцієнт варіації δ_0 збігається зі звичайним коефіцієнтом варіації амплітуд η_2 .

Тоді

$$b^2 = \langle \eta^2 \rangle; \quad C = a = \langle \eta \rangle \text{ и } \delta = \left(\frac{1 + 4\delta_0^2}{3n_p} \right)^{1/2}. \quad (9)$$

Таким чином, для середніх умов різання ґрунту ножами ЗТМ коефіцієнт δ складе в порівнянні з середньозваженим коефіцієнтом елементарного процесу руйнування:

$$\delta = \left(k \cdot h \frac{1 + 4\delta_0^2}{3B} \right)^{1/2}. \quad (10)$$

Проведений аналіз справедливий для умов чистого різання гострим ножом. При наявності опору затуплення, а також опорів призми волочиння, наповнення робочого органа, модель формування навантаження на робочому органі має додаткову складову, близьку до постійної величини. У цьому випадку залежності (4)-(10) визначаються у вигляді:

$$P_T = P + P_0; \quad \langle P_T \rangle = \langle P \rangle + \langle P_0 \rangle;$$

$$D_T = \left\langle (P_T - \langle P_T \rangle)^2 \right\rangle = \left\langle (P - \langle P \rangle)^2 \right\rangle; \quad \delta = \frac{\sqrt{D}}{\langle P \rangle + P_0}. \quad (11)$$

У деяких випадках, при роботі машин на зв'язних ґрунтах малої вологості і при кутах різання близьких до критичних значень (тобто у випадках переходу від руйнування зсувом до руйнування відривом), – можлива перехідна модель. Початковий період руйнування характеризується зсувними явищами, а потім відбувається відрив елемента ґрунту від масиву разом з початком деформування наступного відокремлюваного елемента. Як показують записи зусиль різання і зміни тисків на ножі ЗТМ, у цьому випадку процес можна моделювати у вигляді синусоїдальних коливань зусиль в елементарних процесах руйнування. При цьому величина зусиль в елементарних процесах різання може бути подана залежністю

$$P_i = \eta_i \cdot \sin \left(\pi \frac{S_i}{\xi_i} \right), \quad (12)$$

де, як і раніше, η_i і ξ_i – випадкові параметри синусоїдального імпульсу навантаження внаслідок чергового елементарного акта руйнування; S_i – зсування початку імпульсу відносно аналізованого положення ножа.

Сумарне навантаження P визначиться підсумовуванням зусиль всіх елементарних актів руйнування в даному положенні ножа:

$$P = \sum_{i=1}^n \eta_i \cdot \sin \left(\pi \frac{S_i}{\xi_i} \right). \quad (13)$$

Позначивши $\zeta_i = \frac{S_i}{\xi_i}$ і вважаючи величину ζ_i розподіленою рівномірно на відріжку (0,1), одержимо:

$$P_i = \eta_i \cdot \sin \pi \cdot \zeta_i. \quad (14)$$

У випадку роботи машин на зв'язних ґрунтах при кутах різання менших критичних значень (тобто у випадку руйнування ґрунту відривом), початковий період руйнування характеризується зростанням зусилля до величини, при якій починається утворення тріщини відриву. Потім відбувається подальше просування ножа, що супроводжується ростом тріщини та відокремленням елемента стружки від масиву. У цьому випадку процес можна моделювати у вигляді суми синусоїдальних коливань зусиль в елементарних процесах руйнування. Причому кожний імпульс складається з двох складових: період зростання навантаження – одна синусоїда, період спаду – друга. Тоді зміна зусиль в елементарних процесах різання рекомендується визначати залежністю

$$P_i = \begin{cases} \eta_i \sin\left(\frac{\pi}{2\alpha} \cdot \frac{S_i}{\xi_i}\right) & 0 < S_i < \tau_i \\ \eta_i (\sin \pi \alpha) \sin \pi \frac{S_i}{\xi_i} & \tau_i < S_i < \zeta_i; \tau_i/\xi_i = \alpha \end{cases} \quad (15)$$

Позначимо $S_i/\xi_i = \zeta_i$ і вважаємо, що ця величина рівномірно розподілена на ділянці (0,1). Тоді зусилля різання можна записати у вигляді:

$$P = \sum_{i=1}^n \eta_i q_i ,$$

де

$$q_i = \begin{cases} \sin \frac{\pi}{2\alpha} S_i, & 0 < \xi_i < \alpha; \\ \frac{\sin \pi S_i}{\sin \pi \alpha}, & \alpha < \xi_i < 1. \end{cases} \quad (16)$$

Розглядаючи процеси, в яких зусилля різання моделюється залежностями (4), (15) відповідно до наведеної вище методики, одержимо характеристики процесу навантаження, подані в таблиці.

Процес різання можна представити як двочастотний, де низька частота відповідає впливу оператора чи рельєфу місцевості, а високо-частотні – відокремлення елементів ґрунту від масиву.

Такий режим навантаження є недоцільним, бо значно погіршує показники безвідмовності і довговічності, що необхідно урахувати при проектуванні землерийно-транспортних машин.

Характеристики процессу навантаження

Характеристика	Форма зміни навантаження		
	трикутна	синусоїдальна	сума напівсинусоїда
Математичне очікування сумарного навантаження P	$\frac{1}{2} \sum_{j=1}^{n_p} \langle \eta_j \rangle$	$\frac{2}{\pi} \sum_{i=1}^n \langle \eta_i \rangle$	$\sum_{i=1}^n \langle \eta_i \rangle \langle q_i \rangle$; $\langle q_i \rangle = -\frac{1}{\pi} \left(2\alpha + \frac{1 + \cos \pi \alpha}{\sin \pi \alpha} \right)$
Дисперсія сумарного навантаження	$\frac{1}{3} \sum_{j=1}^{n_p} \langle \eta_j^2 \rangle - \frac{1}{4} \sum_{j=1}^{n_p} \langle \eta_j \rangle^2$	$\frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \langle \eta_i^2 \rangle - \frac{1}{\pi^2} \sum_{i=1}^n \langle \eta_i \rangle^2$	$\sum_{i=1}^n \left(\langle \eta_i^2 \rangle \langle q_i^2 \rangle - \langle \eta_i \rangle^2 \langle q_i \rangle^2 \right)$
Коефіцієнт варіації сумарного навантаження δ	$\left[\frac{1}{3} \sum_{j=1}^{n_p} \langle \eta_j^2 \rangle - \frac{1}{4} \sum_{j=1}^{n_p} \langle \eta_j \rangle^2 \right]^{1/2} \cdot \frac{1}{\frac{1}{2} \sum_{j=1}^{n_p} \langle \eta_j \rangle}$	$\left[\frac{1}{3} \sum_{i=1}^n \langle \eta_i^2 \rangle - \frac{1}{\pi^2} \sum_{i=1}^n \langle \eta_i \rangle^2 \right]^{1/2} \cdot \frac{1}{\frac{1}{\pi} \sum_{i=1}^n \langle \eta_i \rangle}$	$\left(\langle q_i^2 \rangle \sum_{i=1}^n \langle \eta_i^2 \rangle - \langle q_i \rangle^2 \sum_{i=1}^n \langle \eta_i \rangle^2 \right)^{1/2} \cdot \frac{1}{\langle q_i \rangle \sum_{i=1}^n \langle \eta_i \rangle}$
Коефіцієнт варіації амплітуд елементарного процесу руйнування δ_0	$\frac{a}{(b^2 - a^2)^{1/2}} ;$ $a = \left(\frac{1}{n_p} \sum_{j=1}^{n_p} \langle \eta_j \rangle^2 \right)^{1/2} ;$ $b = \left(\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \langle \eta_j \rangle^2 \right)^{1/2}$	$\frac{\pi}{2cn^{1/2}} \left(\frac{1}{2} b^2 - \frac{4}{\pi^2} a^2 \right)^{1/2}$	$c_1 = \langle q_i \rangle ;$ $c_2 = \langle q_i^2 \rangle = \frac{\alpha}{2} + \frac{1}{2 \sin^2 \pi \alpha} \left(1 - \alpha + \frac{\sin 2\pi \alpha}{2\pi} \right)$

- 1.Демішкан В.Ф., Нічке В.В. Підвищення якості землерійно-транспортних машин удосконаленням робочого процесу. – Харків: ХНАДУ, 2007. – 272 с.
- 2.Ветров Ю.А. Резание грунтов землеройными машинами. – М.: Машиностроение, 1971. – 257 с.
- 3.Нічке В.В., Демішкан В.Ф., Жинжера О.І. Ефективність землерійно-транспортних машин // Зб. наук. пр. ХДАЗТ. Вип.73. – Харків, 2006. – С.14-18.
- 4.Нічке В.В., Демішкан В.Ф., Тулузов О.Г. Створення надійних, високоефективних дорожніх машин // Вісник Криворізького технічного університету: Зб. наук. праць. Вип.3. – Кривий Ріг, 2004. – С.120-124.
- 5.Нічке В.В., Демішкан В.Ф. Создание надёжных высокопроизводительных землеройно-транспортных машин // Сб. материалов НМТК «Интерстроймех - 2006». – М.: МГСУ, 2006. – С.305-313.

Отримано 23.12.2008

УДК 539.3 : 539.4

Р.АББАСИ

Харьковская национальная академия городского хозяйства

ИССЛЕДОВАНИЕ ЖЕСТКОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БЕЗБАЛОЧНЫХ ПЕРЕКРЫТИЙ

В деревянных и стальных конструкциях, собираемых из отдельных элементов, балки являются необходимыми частями конструкций. В железобетонных монолитных конструкциях балки как таковые могут отсутствовать, хотя это делает перекрытие более гибким при той же толщине плит, что обуславливает необходимость более тщательного исследования жесткости безбалочных перекрытий.

Широкое использование современных материалов, обуславливает разработку новых методов расчетов, которые учитывают неоднородность материала и нелинейность его свойств. Кроме того, условия эксплуатации строительных конструкций в современных условиях характеризуются высокими внешними воздействиями, что часто приводит к тому, что материал начинает работать за пределами упругости.

Нелинейные задачи деформирования неоднородных конструкций принадлежат к числу наиболее сложных в современной механике. Статья посвящена постановке и методу решения задач деформирования безбалочных перекрытий. Применение безбалочных перекрытий целесообразно при больших временных нагрузках, а также в тех случаях, когда по условиям эксплуатации требуется устройство гладкого потолка.

Исследованию жесткости безбалочных перекрытий в последнее время уделяется большое внимание [1-3]. Вместе с тем, несмотря на большое количество публикаций, посвященных данной проблеме, отсутствует анализ прогибов для перекрытий больших размеров в плане. С учетом того, что при длительной эксплуатации, вследствие ползуче-